

5. Предложены теоретические уравнения для расчета напряжений в лезвии инструмента от величины изгибающей силы резания в зависимости от эпюры нагружения передней поверхности лезвия.

Библиографический список

1. Лоладзе Т.Н., Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: «Машиностроение», 1982. - 320с.
2. Ящерицын П.И. и др., Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах.: Учеб. для вузов /П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512с.
3. Дереворежущие инструменты. Грубе А.Э. Изд. 3-е, перераб. и доп. «Лесная промышленность», 1971г., 344с
4. Дешевой М.А. Механическая технология дерева. – Л.: 1934.-511с.
5. Воскресенский С.А. Резание древесины. – М., Л.: Гослесбумиздат, 1955.- 199с.
6. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М, «Машиностроение», 1975. - 311с.
7. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов. – М.: «Машиностроение», 1979, - 160с.
8. Силин С.С. Методы подобия при резании материалов. – М.: «Машиностроение», 1979. - 152с.
9. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. – М.: «Машиностроение», 1979г. - 168с.
10. Бетанели А.И. К исследованию прочности режущей части инструмента, Вестник машиностроения, № 2 , 1964.
11. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М., Машгиз, 1956. 376с.
12. Износостойкость инструмента для фрезерования древесины. К.И. Демьяновский. М., «Лесная промышленность», 1968. - 128с.
13. Бершадский А.Л. Расчет режимов резания древесины. – М.: «Лесная промышленность», 1967г. - 175с.

Исаков С.Н. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [cbp@usfeu.ru](mailto:cbp@usfeu.ru)

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ  
РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВИХРЕВЫХ ОЧИСТИТЕЛЕЙ<sup>1</sup>**  
*THE BASIS THE USING THE NUMERICAL ANALYSIS FOR  
BESIGNING THE WHIRLERS*

Вихревые очистители (ВО) широко применяются в деревообрабатывающей промышленности, например для очистки воздуха от технологических выбросов: пыли, стружкой и опилками. В целлюлозно-бумажной промышленности вихревые очистители

---

<sup>1</sup> Работа выполнена под руководством профессора, д.т.н. А.А. Санникова

применяются в массоподводящих системах бумагоделательных и картоноделательных машин для очистки волокнистой суспензии от тяжелых включений. Они относятся к большой группе агрегатов, характерным признаком которых является вращающаяся среда (жидкость, газ) с разделением среды на составляющие (различающиеся по плотности).

Циклоны состоят обычно из цилиндрической и конической частей. Сортируемая среда подается в цилиндрическую часть по касательной к цилиндру, совершает внутри циклона вращательное движение с частотой пропорционально скорости среды  $V_c$  и обратно пропорциональной радиусу вращения  $r_g$ , частота вращения среды увеличивается от периферии к центру циклона (рис. 1).

При вращении волокнистой суспензии в ВО формируется широкополосная случайная нагрузка, действующая на корпус циклона. На «инородные частицы» и элементарные объёмы волокнистой суспензии (волокна и жидкость) действуют силы инерции, тяжести и трения. Под действием сил инерции частицы включений, с плотностью большей плотности волокна двигаются по наибольшему радиусу, а с плотностью, меньшей плотности волокна, по минимальному радиусу. Под действием силы тяжести и архимедовой силы тяжелые включения опускаются вниз по винтовой линии, а легкие включения - вверх и уходят с восходящим потоком. Силы инерции вращающегося потока, действующие на корпус циклона, оказываются несбалансированными по ряду причин (отклонение от окружности сечений циклона, трение и турбулентные воздействия на стенки цилиндра, косые удары потока волокнистой суспензии, поступающей по трубе о стенки ВО).

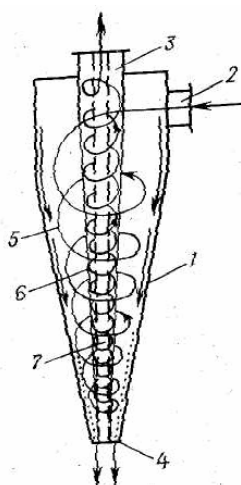


Рисунок 1 – Принципиальная схема ВО очистителя: 1-корпус; 2-питающий патрубок; 3-патрубок очищенной массы; 4-патрубок отходов; 5-внешний патрубок; 6-внутренний патрубок; 7-воздушный столб

Суммарное динамическое воздействие волокнистой суспензии на ВО можно представить в виде «белого шума». А динамическое воздействие в виде «белого шума» возбуждают колебания конструкций на их собственных частотах. Экспериментальные исследования большого количества ВО подтверждают вышесказанную гипотезу.

ВО обычно устанавливаются в батареях различного конструктивного исполнения. Суммарное групповое воздействие ВО возбуждает колебания конструкций блока так же на их собственных частотах.

Вибрация ВО и их блоков является одной из причин пульсации давления волокнистой суспензии и, как следствие, колебаний массы квадратного метра бумаги в продольном направлении.

Для примера приведем результаты экспериментальных исследований вибрации блока ВО типа «форжект» и ВО типа «магноклинер». Диаметры цилиндрической части ВО составляют соответственно 250 и 1100 мм. В первом случае наиболее четко выражена собственная частота 40 Гц. Именно на этой частоте проявляется вынужденная вибрация при работе ВО, СКЗ виброскорости до 23 мм/с (рис. 2). Во втором случае низшие собственные частоты колебаний ВО и поддерживающих конструкций лежат в пределах 8 – 17,5 Гц, а СКЗ виброскорости достигает 5,7 мм/с. Заметим, что допустимое значение виброскорости для этих конструкций 4,5 мм/с. В обоих случаях в спектрах колебаний массы 1 м<sup>2</sup> бумаги в продольном направлении проявляются частоты колебаний ВО.

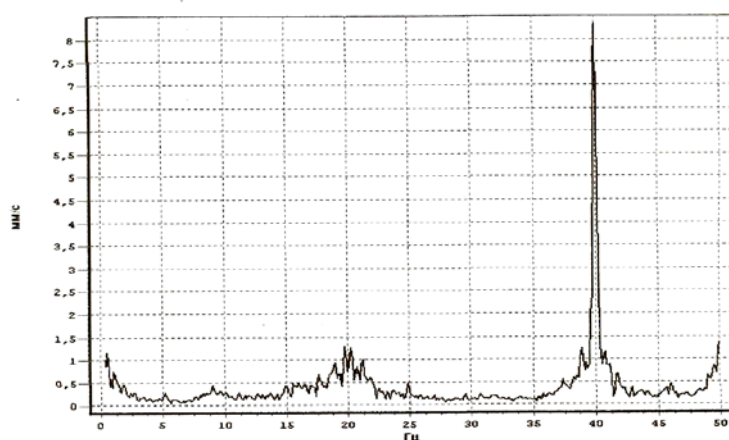


Рисунок 2 – Образец спектра виброскорости конструкции ВО

Уменьшение вибрации конструкций осуществляется воздействием на источник, на путях распространения и на приемник вибраций. Воздействие на источник вибрации при существующих конструкциях ВО исключено, так как источник повышенной вибрации – динамические воздействия ВО, заключаются в принципе их работы. На путях распространения вибрации реализуется установка на трубопроводах упругих вставок-амортизаторов. СКЗ виброскорости трубопроводов до и после вставок-амортизаторов не превышает 4,5 мм/с.

Уменьшение вибрации конструкций осуществляется воздействием на источник, на путях распространения и на приемник вибраций. Воздействие на источник вибрации в данном случае исключено, на путях распространения вибрации реализовано установкой на трубопроводах упругих вставок-амортизаторов. СКЗ виброскорости трубопроводов до и после вставок-амортизаторов не превышает 4,5 мм/с, что меньше допустимых значений.

Уменьшение вибрации ВО, трубопроводов и поддерживающей конструкции обеспечивается виброизоляцией каждого ВО отдельно путем установки упругодемпфирующих вставок-амортизаторов между трубопроводами и патрубками корпусов, а также применением упругодемпфирующих опор корпусов. Виброизоляция понизит собственную частоту колебаний корпусов, уменьшит передачу вибрации трубопроводам и

поддерживающим конструкциям, а вибродемпфирование позволит уменьшить резонансную вибрацию.

Для поиска путей виброзащиты ВО в источнике, например, для выявления возможности обеспечения равновесного давления на стенки корпуса путем подвода массы не через одну а посредством нескольких трубопроводов, равномерно распределенных по периметру сечения корпуса; а также для выявления оптимального продления внутренней поверхности ВО, автором разработана методика численного анализа поведения массы в ВО с использованием программных средств МКЭ.

Сущность используемого МКЭ широко применяется для инженерных расчетов [3]. Геометрические модели корпуса ВО и жидкости в нем показаны на рис.3.

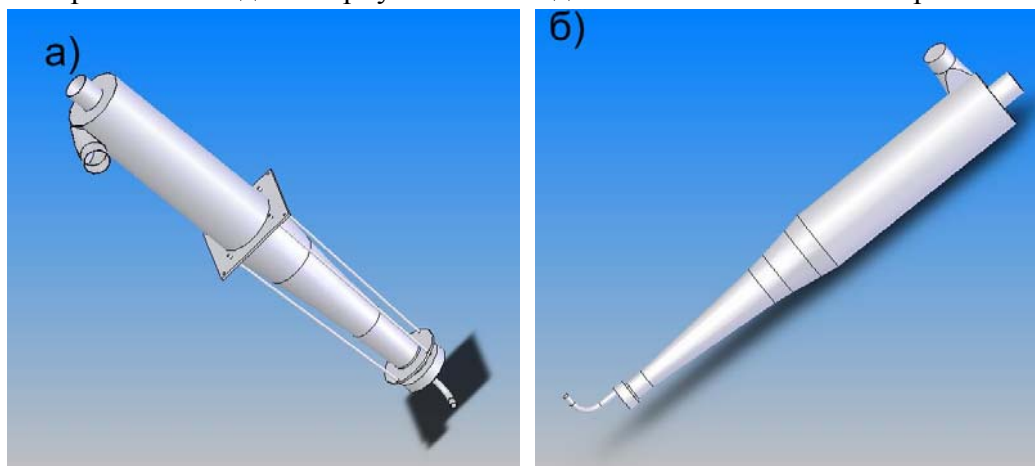


Рисунок 3 – Геометрическая модели корпуса (а) и жидкости (б) ВО

На весь объём жидкости наносится конечно-элементная сетка (КЭС) (рис. 4). Детальность в области высоких градиентов накладываемой КЭС принята выше, чем в остальных областях модели.

Исходные данные для расчета: параметры движения жидкости (скорости и давления на входе в вихревой очиститель, давление на выходе очищенной массы и «отходов» и др.). В модели приняты следующие допущения:

- корпус принят недеформируемым;
- расход «отходов» регулируется давлением на выходе;
- все физические параметры волокнистой суспензии приняты для воды при постоянной температуре;
- принята одинаковая шероховатость всех частей очистителя и не учтены возможные погрешности изготовления и сборки;
- не учтены вибрация корпуса и дефекты монтажа;
- давление на входе и выходе приняты постоянными (не учитывается пульсация давления бумажной массы).

Для расчета приняты следующие параметры давления на входе в ВО – статическое и динамическое 415 и 105 кПа; на выходе очищенной массы и в патрубке для отходов 150 и 101 кПа. Объемное распределение скоростей (м/с) элементарных объёмов жидкости и статическое давление показано на рис. 5, где отчетливо видно формирование восходящего потока, распределение скоростей и давлений.

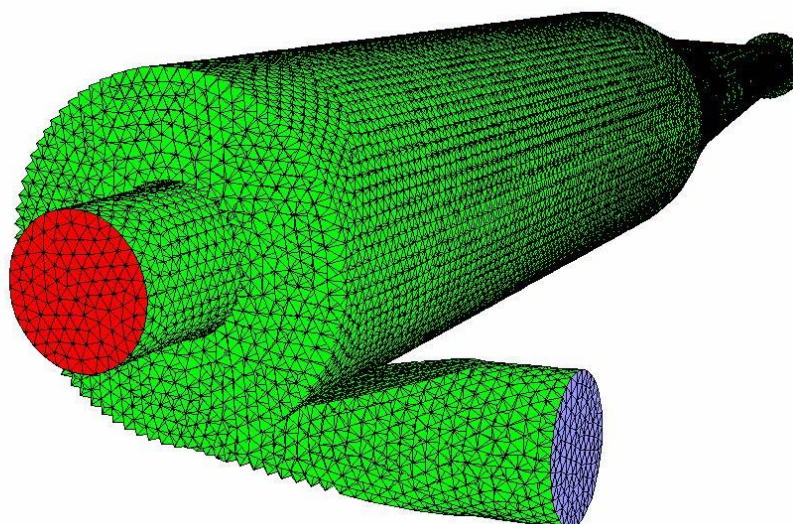


Рисунок 4 – Конечно-элементная сетка объема жидкости

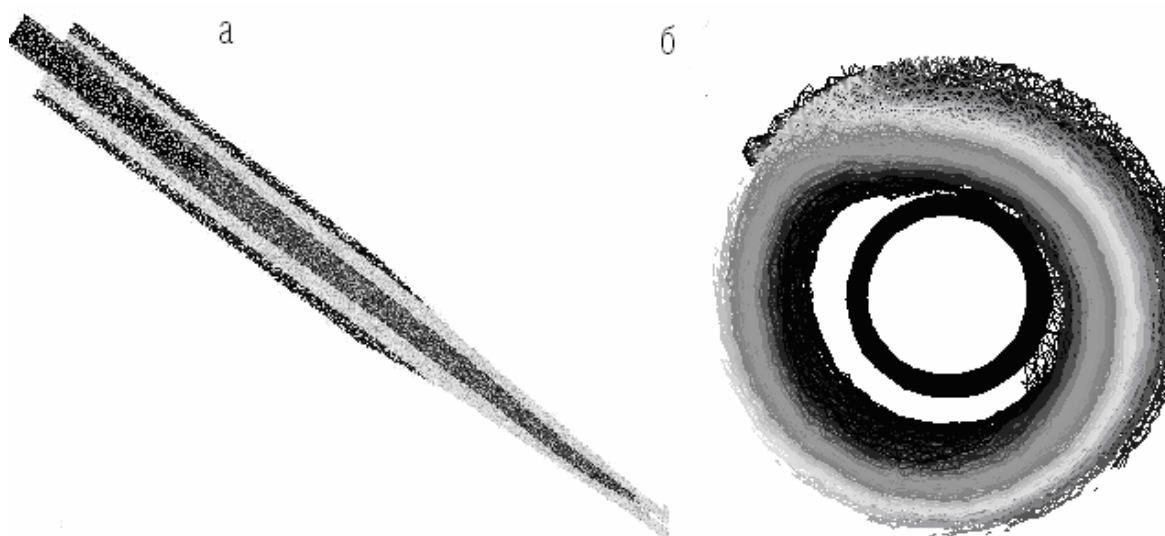


Рисунок 5 – Распределение скоростей (а) и давление в осевом направлении (б) и в поперечном (в) в ВО

При динамическом расчете корпуса ВО используется твердотельная модель конечно-элементной сетки (рис. 6). В модели распределённая присоединённая масса воды учтена путём увеличения плотности материала корпуса ВО. Получены следующие частоты колебаний 42,5; 44; 61,6-62,6 Гц.

Расхождение расчетной низшей собственной частоты колебаний корпуса ВО с экспериментальным значением не превышает 5-6%. При помощи МКЭ можно определить оптимальные характеристики ВО, варьировать их параметры.

Технологические агрегаты массоподводящей системы соединены трубопроводами. Эти участки являются волноводами, а так же сами могут быть источниками вибрации и пульсации бумажной массы в случае механического или (и) акустического резонанса. Поэтому, важно знать собственные частоты того или иного участка, чтобы избежать отрицательного воздействия на всю схему МПС.



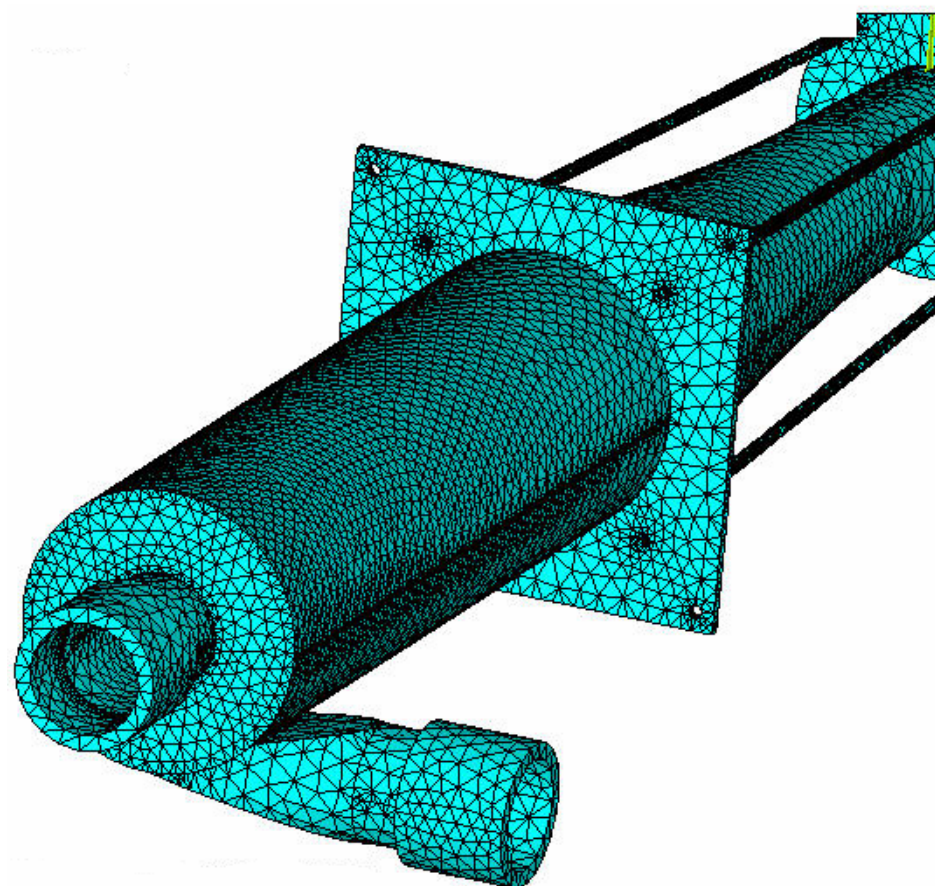


Рисунок 6 – Модель корпуса ВО

В работе, выходящие за рамки настоящей публикации, исследованы динамические характеристики трубопроводов и конструкций, поддерживающих ВО с использованием рассмотренного МКЭ.

#### Библиографический список

1. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины: Учеб пособие/ Под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина, СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2006. – 588 с.
2. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов/ В.Л. Вейц. – М.-Л.: Машиностроение, 1969. – 383 с.
3. Галлагер Р. Метод конечных элементов/ Р. Галлагер. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
4. Программа ANSYS. Краткий курс: учеб. Пособие/Представительство CAD-FEM GmbH в СНГ. – Снежинск, 1996. – 28 с.